

LNG-FPSO 선박 장비들의 보전활동 지원시스템 개발에 관한 연구

이순섭^{*†} · 강동훈^{**} · 이종현^{**} · 이승준^{***}

*, ** 경상대학교 조선해양공학과, *** (주)아르고넷

A Study on the Development of Maintenance System for Equipment of LNG-FPSO Ship

Soon-Sup Lee^{*†} · Donghoon Kang^{**} · Jong-Hyun Lee^{**} · Seung-Jun Lee^{***}

*, ** Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

*** Argonet co, ltd, Techno 10 Ro 51 2F, Yuseong-Gu, Daejeon 34036, Korea

요 약 : 본 연구에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재되어 있는 장비들의 운영효율을 최대화하기 위한 상태기반유지보수(CBM) 활동을 지원하는 보전시스템을 개발하였다. 개발된 보전시스템에서는 상태기반유지보수를 수행할 주요 장비들을 식별하여 이를 PWBS(Product Work Breakdown Structure)로 정의하였고 식별된 장비들로부터 실시간 수집되는 센서데이터를 이용하여 장비들의 고장분석과 최적 유지보수 방안을 결정하기 위한 경제성평가 등을 수행하며, 이들을 수행하기 위해 필요한 입출력 데이터를 저장, 관리하는 고장사례 및 유지보수데이터베이스를 구축하였다. 개발시스템의 성능검증을 현재 개발 중인 LNG-FPSO 선박의 Inlet 시스템의 Compressor와 화물창의 Pump Tower 등과 같은 주요 장비들을 대상으로 실시하였고 이를 바탕으로 상태기반유지보수의 가능성을 확인하였다.

핵심용어 : LNG-FPSO 선박, 보전시스템, 상태기반유지보수, 해양플랜트 장비, 고장형태, 위험성평가

Abstract : In this paper, a maintenance system is developed for LNG-FPSO topside and hullside equipment based CBM (Condition Based Maintenance) methodology. First, the development system defined the PWBS(Product Work Breakdown Structure) of major equipment of LNG-FPSO. Second, the development system developed the failure analysis, economic evaluation for optimal maintenance plan and database systems that save and manage information about equipment, failure mode, failure rate and failure cause. Finally, the verification of the development system was applied to the inlet system of topside and the pump tower system of hullside and the system was confirmed the effectiveness of CBMS(Condition Based Maintenance System).

Key Words : LNG-FPSO ship, Maintenance system, CBM(Condition Based Maintenance), Offshore plant equipment, Failure mode, Risk assessment

1. 서 론

2009년 미국의 리먼브라더스 사태 이후에 지속적으로 진행되는 금융 위기로 인한 세계 경기 침체가 본격화 된 이후에 대부분의 에너지 및 자원들에 대한 개발 계획이 지연되고 있다. 특히, 2014년 이후 갑작스런 유가의 폭락으로 인해 해양플랜트 시장이 급속히 냉각되고 있지만 석유, 가스 등과 같은 에너지 자원들은 모든 방면에서 사용되고 있기 때문에 새로운 에너지 개발, 육상보다는 해양에서 더욱더 활발히 이루어질 전망이기 때문에 해양플랜트 수요도 같이 증가

할 것으로 예상된다(Lee and Kim, 2014; Kim and Lee, 2014).

또한 일본의 원자력사고 및 CO₂ 규제와 같은 환경변화 이후에 LNG에 대한 관심이 매우 높아졌고, Drillship 및 Oil FPSO 이후의 해양플랜트 시장을 리드하기 위한 새로운 제품군으로 LNG 관련 제품 특히, FLNG 선박(LNG-FPSO, FSRU 등)에 대한 관심과 개발이 이루어지고 있다.

LNG-FPSO(Liquefied Natural Gas-Floating Production, Storage and Offloading; 부유식 해양 LNG 액화플랜트) 선박은 원거리 해양에 있는 가스전으로 이동하여 해상에 부유하며(Floating) LNG를 생산(Production), 저장(Storage), 출하(Offloading)할 수 있는 대형 해상 이동식 복합기능 플랜트이다(Lee, 2014). LNG-FPSO 선박의 상부구조물(Topside)에는 가스(Gas)를 유정

† Corresponding Author : gnusslee@gnu.ac.kr, 055-772-9191

에서 끌어올려 분리공정(가스, 기름, 물 분리), 가스전처리공정, 액화공정을 통해 순수한 LNG를 생산하는 장비들이 좁은 공간에 조밀하게 배치되어 있다.

LNG-FPSO 선박은 일반 전통적인 선박과 달리 한번 설치되면 25년 이상 한 장소에서 가스를 생산하기 때문에 조그마한 장비들의 고장들도 가스 생산성 향상에 치명적인 원인이 된다. 따라서 LNG-FPSO 선박은 일반 선박과는 다른 신뢰성 높은 유지보수 체계가 필요하며, 해양플랜트를 운영하는 선사들은 각 해양플랜트별로 최소 1일에서 최장 6개월 동안의 탑재 장비들에 대한 유지보수 방안들을 회사정책으로 수립하여 운영하고 있다.

LNG-FPSO 선박에 설치되어 있는 장비들 마다 사용 연한이 다르고, 환경이나 사용조건, 부하 등에 따라 열화내용이나 열화속도가 다르므로, 진단, 평가, 예지, 보전 등의 유지보수를 위한 정보들의 수집 및 통합을 기반으로 한 지속적인 지식화 기술 확보가 필수적으로 요구된다(GE Energy, 2013). 따라서 기존의 유지보수 방법이 아닌 장비들의 상태변화에 따라 유지보수 방법을 달리 세우고 실행하는 상태기반유지보수(CBM, Condition Based Maintenance) 방법에 관심이 쏠리고 있다(Smith and Hinchcliffe, 2004).

또한, 해양플랜트 관리 및 유지보수 인력의 실수와 점검 미숙으로 인한 사고피해를 최소화하고 운용의 효율화를 도모하기 위해서는 해양플랜트 예지보전 체계 기술의 구축이 필수적이며, 인적 실수를 방지하기 위한 자동화/체계화를 통해 비전문가도 설비 고장을 분석하고 대응하는 시스템의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재되어 있는 장비들의 운영효율을 최대화하기 위한 상태기반유지보수 활동을 지원하는 보전시스템 개발 결과를 소개하고자 한다. 보전시스템을 개발하기 위해 먼저 LNG-FPSO 선박의 Topside, Hullside 및 Subsea 별로 수행되는 공정을 분석하였고, 분석을 통해서 상태기반유지보수를 수행할 주요 장비들을 식별하였다. 식별된 장비들에 대한 속성, 고장사례, 고장원인, 고장심각도 및 신뢰도 값 등을 OREDA(SINTEF, 2009)와 장비 업체를 통해서 수집하였다. 보전활동을 지원할 시스템 개발을 위한 평가기법, 데이터베이스 설계 및 구현 등 수행하였으며, 시스템은 사용자가 보다 쉽고 친숙하게 사용할 수 있도록 개발하였다. 마지막으로 장비들에 대한 상태기반유지보수 활동 지원을 위한 기능검증을 수행할 시제품을 개발하였다.

2. LNG-FPSO 선박에 탑재되는 장비들

LNG-FPSO 선박은 해상에 부유하며 LNG 생산, 저장, 출하가 목적이기 때문에 작업 목적에 따라 Topside, Hullside 및

Subsea 공정으로 구분되고 각 공정별로 수행공정을 수행할 수 있는 장비들이 최적화, 집적화 되어 있다.

LNG-FPSO 선박의 Topside 공정은 유정에서 올라온 가스(많은 불순물을 포함하고 있음)를 Inlet system, Gas treatment system, NGL(Natural Gas Liquids) recovery system, Liquefaction system과 같은 공정을 거치면서 불순물이 제거된 순수한 LNG 생성하는 공정으로 이루어져 있다(Dongnam Leading Industry Office, 2012; Son et al., 2014).

Fig. 1에서는 LNG-FPSO Topside 공정을 도식화하여 나타낸 것이다.

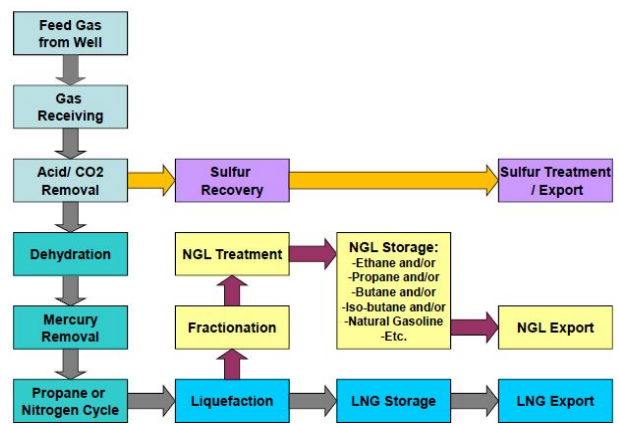


Fig. 1. LNG-FPSO topside process (Dongnam Leading Industry Office, 2012).

LNG-FPSO 선박의 Hullside 공정은 Topside 공정을 통해서 생산된 순수한 LNG를 화물창고에 저장하고 정기적으로 운행되는 셔틀 LNG선으로 하역하기 위한 공정으로 이루어져 있다. 따라서 LNG-FPSO 선박의 Hullside 공정에 필요한 장비들은 대부분이 상선인 LNG 선박에 탑재된 장비와 거의 유사하다.

LNG-FPSO 선박의 Subsea 공정은 유정으로부터 나오는 가스를 보다 안전하게 선박의 Topside 공정으로 이송시키는 공정과 이송과정에서 선박의 움직임을 없게 하기 위한 무어링(Mooring) 작업 등이 주요 공정이다.

본 연구에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재된 장비들 중에서 Topside 공정에 사용되는 모든 장비들뿐만 아니라 Hullside 공정에서는 화물창에 설치된 장비와 Subsea 공정에서는 무어링 장비들을 대상으로 시스템을 개발하였다.

Fig. 2는 LNG-FPSO 선박에 탑재되어 있는 장비들 중에서 상태기반유지보수 활동을 수행할 Topside의 Liquefaction system과 Hullside의 Storage system 장비들을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서는 LNG-FPSO 선박의 Topside 공정 중에 유정에서 올라온 원료가스로부터 가스, 기름 및 물을 분리하는 Inlet system을 구성하는 장비들에 대한 고장사례를 정리하였다.

LNG-FPSO 선박 장비들의 보전활동 지원시스템 개발에 관한 연구

해양플랜트에 Topside에 설치되는 장비들에 대한 고장자료가 매우 부족하여 이들 장비들에 대한 고장유형, 고장률 데이터 등을 정리해 놓은 OREDA(Offshore REliability DAta) 데이터베이스와 육상플랜트를 운영하고 있는 화학공장을 찾아 압축기의 운영정보 및 고장정보를 확보하였다.

SYSTEM	SUBSYSTEM	SUB-SUBSYSTEM	EQUIPMENT
LIQUEFACTION SYSTEM	LIQUEFACTION UNIT	PUMP	LNG RUNDOWN PUMP
			WARM MR PUMP A
			WARM MR PUMP B
			WARM MR PUMP C
			WARM MR PUMP D
		VESSEL	COLD REFRIGERANT VAPOR LIQUID SEPARATOR
			LNG RECEIVER
			WARM LP MR SUCTION DRUM A
			WARM HP MR SUCTION DRUM A
			WARM MR ACCUMULATOR A
			WARM LP MR SUCTION DRUM B
			WARM HP MR SUCTION DRUM B
			WARM MR ACCUMULATOR B
			COLD LP MR SUCTION DRUM A
			COLD LP MR SUCTION DRUM B
		TANK	COLD HP MR SUCTION DRUM A
			COLD HP MR SUCTION DRUM B
			WARM MR RUNDOWN TANK
			COLD MR RUNDOWN TANK
			ETHANE MAKE-UP TOTE
STORAGE AND OFFLOADING SYSTEM	STORAGE UNIT	TANK	PROPANE MAKE-UP TOTE
			BUTHANE MAKE-UP TOTE
			LNG CARGO TANK
			CONDENSATE TANK
			PUMP TOWER
	OFFLOADING UNIT	EXCHANGER	LNG CARGO VAPORISER
		COMPRESSOR	LNG CARGO TANK WARM UP HEATER
		PUMP	LNG CARGO TANK WARM UP COMPRESSOR
			PORTABLE VACUUM PUMP
			LNG CARGO PUMP
PACKAGE	LNG SPRAY PUMP		
	LNG EMERGENCY CARGO PUMP		
			OFFLOADED LNG METERING
			LNG OFFLOADING ARM

Fig. 2. Equipment list of topside and hullside.

System Name	Sub-System Name	Equipment Name	Severity	Failure Mode	Failure rate		
					Min.	Average	Max.
INLET SYSTEM	INLET FACILITY UNIT	VESSEL	CRITICAL	AIR	1.00E-04	13.44	65.65
				ELF	-	6.92	38.88
				PDE	0.1	0.56	1.32
				OTH	-	5.14	26.52
			Degraded	AIR	-	22.66	120.19
				ELF	0.05	9.92	35.73
				ELU	0.01	4.62	17.99
				PDE	3.00E-03	4.02	16.91
			Incipient	STD	-	2.87	15.28
				OTH	0.15	12.31	39.62
				AIR	0.01	217.01	1007.37
				ELF	0.14	8.65	27.28
		Unknown	ELU	1.00E-04	5.9	28.34	
			SER	5.00E-03	48.14	219.88	
			PDE	0.76	14.8	44.18	
			STD	3.00E-03	2.6	10.64	
		PUMP	CRITICAL	OTH	0.14	14.74	48.51
				UNK	-	0.56	2.75
				PDE	3.00E-03	0.19	0.59
				OTH	-	0.72	3.58
				UNK	-	4.78	23.62
				AIR	4.00E-03	1.26	4.91
				ELF	-	10.55	52.56
				ELU	6.00E-03	3.16	12.71
VESSEL	CRITICAL	STP	0.04	18.41	73.46		
		LOO	2.00E-03	5.21	22.58		
		NOI	4.00E-03	1.26	4.9		
		PDE	5.00E-03	13.93	60.72		
		UST	0.04	53.64	225.12		
		STD	7.00E-03	19.69	85.98		

Fig. 3. Failure information of inlet system.

3. 보전활동을 위한 평가 기법들

본 연구에서 사용하는 상태기반유지보수 활동과정을 간략하게 살펴보면 Fig. 4와 같다.

상태기반유지보수 활동의 첫 단계는 유지보수 활동을 수행할 시스템 또는 장비들을 정의하는 것이며, 장비가 결정

되면 정의되는 장비들의 고장사례를 수집한다. 해양플랜트의 특성상 고장사례가 적기 때문에 육상 장비 또는 유사 장비의 사례를 이용하기도 한다. 세 번째 단계로는 정의된 시스템과 고장사례를 이용하여 고장분석을 수행하는 과정으로 기존의 고장 또는 위험요소 파악에 공통적으로 사용되는 기법을 이용한다. 다음으로는 고장분석 결과를 이용하여 장비들의 유지보수 방법 및 주기를 결정 후보군을 결정하고 이들 후보군들에 대한 경제성평가를 실시한다. 경제성평가에 사용되는 비용은 전생애주기비용을 사용한다. 최적의 유지보수 방법과 주기가 결정되면 이를 실행시키고 그 결과는 Feedback한다. 이때 유지보수 주기는 길어도 6개월을 넘어서는 안 된다.

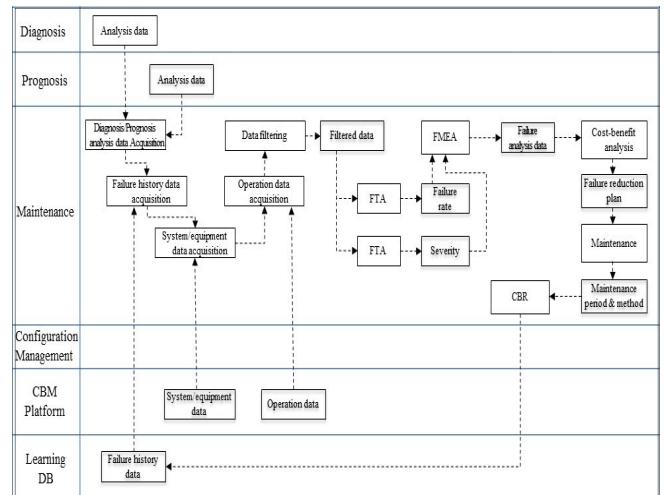


Fig. 4. Procedure of system execution.

상태기반유지보수 활동 시 고장분석 및 평가에 사용되는 대표적인 기법으로는 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), FMEA(Failure Modes and Effects Analysis) 등이 있다.

FTA(Fault Tree Analysis)는 시스템이 내재되어 있는 위험 인자를 파악하고 고장을 발생시킬 확률을 계산하기 위한 Top-down 방식의 분석법이다(Lee et al., 2015). 분석 방법이 간단하고 비교적 쉽게 고장을 파악할 수 있기 때문에 고장 분석 시 가장 많이 사용되는 기법중 하나이다. FTA는 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장과 인간의 오류, 그리고 외부 사건이 논리적으로 조합되어 특정한 사고를 야기 시키는 지를 가지적으로 모델링 하여 분석하는 방법이다.

ETA(Event Tree Analysis)는 FTA와는 반대로 Bottom-up 방식을 이용해서 시작 사건으로부터 나올 수 있는 결과를 의사결정트리(Decision tree)를 이용하여 분석하는 방법이다(Lee et al., 2015). 특히 여러 개의 안전장치가 마련되어 있는 시스

4. 보전시스템 개발

템의 위험을 파악하기 위해 많이 사용된다. ETA의 장점으로 는 여러 사건이 복잡하게 얽혀져 있거나 도미노 현상에 의 해 발생하는 결과를 파악할 수 있다는 것이며 안전성 평가 기법 외에 위해요소 식별 단계에서 시나리오를 구성하는 기 법으로도 널리 사용되고 있다.

FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)는 각 부품의 고장 이 어떻게 전체 시스템에 영향을 미치는지를 분석하여 각 고장에 대응하는 적절한 안전장치가 마련되어 있는지를 분 석하는 방법이다(Park et al., 2007). 주로 정성적인 분석을 할 때 사용되며 물리적인 부품으로 구성되어 있는 시스템의 위 해도 분석에 적절한 기법이다. 이 방법은 기계장치 또는 전기 장치 시스템을 검토하는 데 사용되며 장비의 유지보수를 최 적화하는데 자주 사용된다. 또한 시스템에 문제가 생겼을 때 이를 해결하기 위한 정보를 얻기 위해서도 많이 사용된다.

이상과 같이 고장분석 및 평가 기법들은 장비의 운용단계 에서 시스템의 고장에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 장비 또는 유지보수가 우선적으로 필요한 장비들의 선정 등에 이용될 수 있다.

또한, 최적 유지 보수 방법 및 주기 결정은 상태기반유지 보수 방법의 핵심 기법이다. 이 기법은 정의된 주요 장비들 의 고장 특성에 따라 적절한 유지 보수 방법과 주기를 결정 하는 기법으로 경제성 평가를 거쳐 적절한 유지 보수 방법 이 결정한다.

본 연구에서는 장비들의 최적 유지 보수 방법 및 주기 결 정을 위한 경제성평가 방법으로 장비들의 생애주기비용 (Lifecycle cost)을 이용하였다. 해양플랜트 장비들의 생애주 기비용은 CAPEX (CAPital EXpenditures), OPEX(OPERational EXpenditures), RAMEX(Reliability-Availability-Maintainability EXpenditures) 및 RISKEX(RISK EXpenditures) 요소들로 구 성되어 있다. CAPEX는 시스템 및 장비들의 설계가격과 설치 비 등을 포함한 가격을 나타낸 것이고 OPEX는 설치된 시스 템 및 장비들을 운영하는데 소요되는 비용을 말한다. RAMEX 는 시스템과 장비들의 신뢰성, 가용성, 유지보수성을 위한 지출로서 생산손실과 시스템/장비들의 고장에 따른 수리, 교 체비용을 모두 포함한다. RISKEX는 장비운영단계에서 장비 제어를 잘못하여 발생하는 위험비용이다. 해양플랜트 장비 들의 생애주기비용 계산 시 RISKEX 및 RAMEX 요소를 계산 하기 위한 데이터 부족으로 CAPEX와 OPEX 만을 이용하여 계산하기 때문에 본 연구에서도 이 두 요소만을 이용하여 계산하였다. 경제성평가는 고장분석 및 평가에서 도출된 고 장형태와 원인들을 이용하여 고장을 제거하기 위해 여러 가 지 대안 정의하고 대안별로 소요되는 생애주기비용을 계산 하며 이들 중에서 가장 적은 비용을 소요되는 안을 최적의 유지 보수 방법으로 결정하였다.

LNG-FPSO Topside 및 Hullside에 설치되어 있는 장비들에 대한 보전시스템 개발을 위한 사례연구를 위한 개발환경 및 개발도구를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Development environment and tools

Properties	Environment & Tools
Platform	PC (i5 or more)
Operating System	Window 7/8
Language	Visual C++, C#, WPF
Database	MS SQL
GUI	C# WPF
Graphic Library	C# WPF

Table 1에서 보는 바와 같이 보전시스템 개발을 사례 연구 는 Window 7/8 환경에서 개발하였으며, 플랫폼은 PC i5 이상 에서 구동되도록 개발하였다. 시스템 개발을 위해서 사용된 프로그램 언어는 마이크로소프트사에서 제공하는 Visual C++ 와 C#을 사용하였고, 그래픽 사용자 인터페이스(GUI, Graphical User Interface)는 C# WPF(Windows Presentation Foundation)를 사 용하여 개발하였다. 또한 장비들에 대한 기본정보, 운항정보 및 고장사례 등은 통합 DB에서 저장, 관리하고 이들 정보를 보전시스템에서 활용할 수 있도록 MS SQL(Microsoft Structured Query Language) 및 그래픽 사용자 인터페이스를 통한 인터 페이스 프로그램을 개발하였다. 보전시스템은 여러 기능을 수행하는 모듈로 개발되어 서로 연관되어 수행되며, 시스템 의 효율적인 관리 및 유지보수를 위해 사용자가 쉽게 접근 할 수 있도록 개발하였다.

Fig. 5에서는 LNG-FPSO 선박에 설치, 운영되는 장비들의

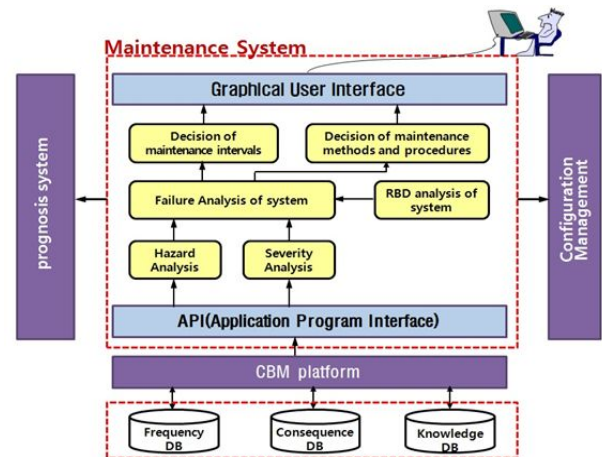


Fig. 5. System configuration.

LNG-FPSO 선박 장비들의 보전활동 지원시스템 개발에 관한 연구

유지보수 활동을 지원하는 보전시스템의 전체 구성도를 나타내었다. 개발된 시스템은 크게 고장사례 및 유지보수 계획들을 저장, 관리하는 데이터베이스 모듈, 보전활동을 지원하기 위한 고장분석 및 평가를 수행하는 해석모듈, 진단과 예지시스템, 형상관리시스템등과의 인터페이스를 위한 API 모듈 및 사용자인터페이스모듈로 구성되어 있다. 이들 구성 프로그램들은 데이터베이스 및 그래픽 사용자 인터페이스를 통해서 서로 연관되어 수행되며, 시스템의 효율적인 관리 및 유지보수를 위해서 모든 프로그램들은 모듈화 하였다.

개발 시스템의 각 기능들의 성능 확인을 위해 Inlet 시스템의 Compressor와 화물창의 Pump Tower를 대상으로 검증을 실시하였으며, 이때 사용한 데이터는 OREDA, 육상플랜트 장비 및 미국의 해양플랜트 운용회사의 데이터를 이용하였다.

Fig. 6에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재된 여러 개의 장비들로 구성된 서브시스템 및 시스템의 신뢰도를 계산하기 위한 화면을 나타내었다. 본 연구에서는 시스템의 구성을 시스템 블록 다이어그램으로 표현하였고 구성된 각 장비들의 고장률 또는 신뢰도 값을 이용하여 계산되도록 하였다. 시스템의 구성형태는 장비들의 구성모양에 따라 직렬시스템, 병렬시스템 및 직렬과 병렬을 포함함 비직렬 시스템으로 구분하여 정의하도록 하였으며, 사용자의 편의를 위해 사용자가 직접 시스템을 구성하도록 하였다. 또한, 복잡한 시스템의 정의를 위해 줌인/줌아웃(Zoom-in/Zoom-out) 기능을 구현하였다.

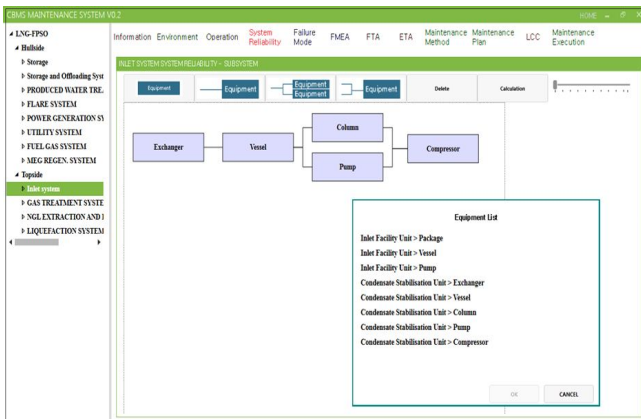


Fig. 6. Calculation of system reliability.

Fig. 7에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재된 장비들에 대한 고장 발생 원인들을 정의하고 이를 통해서 고장이 발생할 확률을 계산하는 과정을 나타내었으며, 본 연구에서는 이를 위해 FTA 분석과정을 프로그램화 하였다. 개발시스템은 Onboard 시스템을 목표로 개발되었기 때문에 고장발생확률을 계산하기 위한 고장형태별 고장발생모델을 미리 정의하여 시스템에 저장하여 두었다. 고장형태별 고장발생모델은 OREDA

에서 제공하는 고장형태와 고장원인들을 기반으로 장비 업체에서 제공한 고장형태와 고장원인들을 추가하여 정의하였고 새로운 모델을 정의할 수 있도록 사용자가 시스템에서 제공하는 고장발생모델을 수정할 수 있도록 하였다. 또한 장비들에 대한 자세한 고장사례 정보가 없이 간단한 고장횟수 및 시간만 있을 경우에도 쉽게 고장률을 계산하도록 하였다.

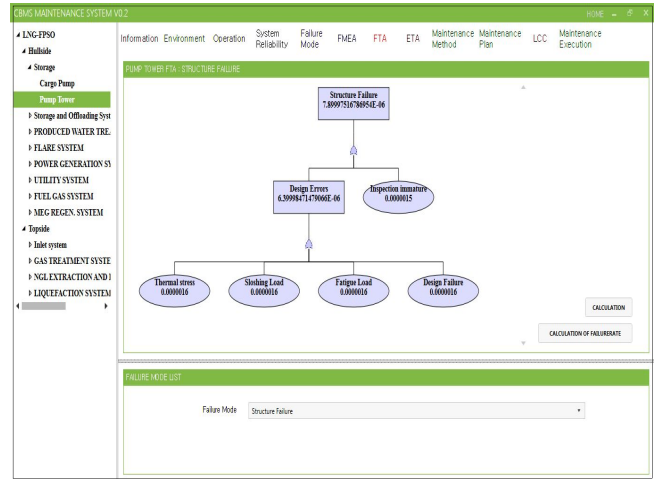


Fig. 7. Fault tree analysis of equipment.

Fig. 8에서는 고장이 발생한 장비들에 대한 피해규모의 심각도를 계산하는 과정을 나타내었다. 본 연구에서는 장비고장에 따른 피해를 인명, 화물, 선박 및 해양오염 관점에서 그 피해규모를 계산하였으며, 고장형태에 따른 고장률은 고장발생모델에서 계산한 값을 사용하고 만약 고장발생모델로부터 계산하지 않은 경우에는 OREDA의 평균고장률을 사용하도록 하였다. 고장이후의 전개과정은 FTA 분석과정과 같이 미리 고장심각도모델을 시스템에 저장하여 사용하도록 하였으며, 사용자가 수정을 할 수 있도록 하였다.

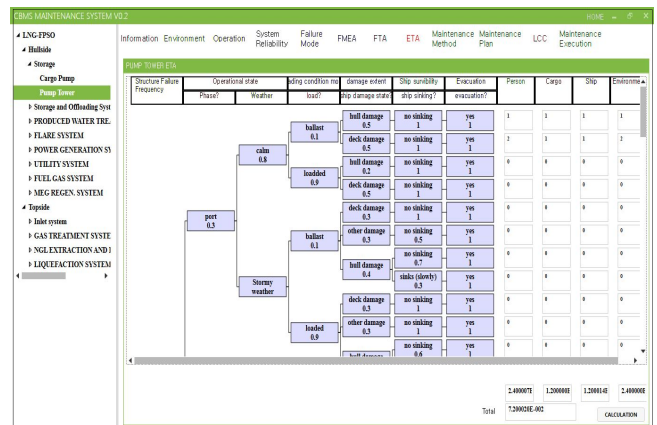


Fig. 8. Event tree analysis of equipment.

Fig. 9에서는 장비들의 고장원인과 이에 따른 영향도를 계산하는 과정을 나타내었다. 개발 시스템에서는 고장형태 정의모듈에서 정의한 장비별 고장형태를 발생시키는 고장원인들을 정의하도록 하였다. 또한 이들 고장원인들에 의한 위험도 계산은 고장사레데이터베이스에 저장된 값을 우선 가시화하도록 하였으며, 자세한 계산은 FTA와 ETA를 통해서 계산된 값을 사용하도록 하였다. 또한 이 모듈에서 정의한 권고사항은 하나의 유지보수 방안을 사용된다.

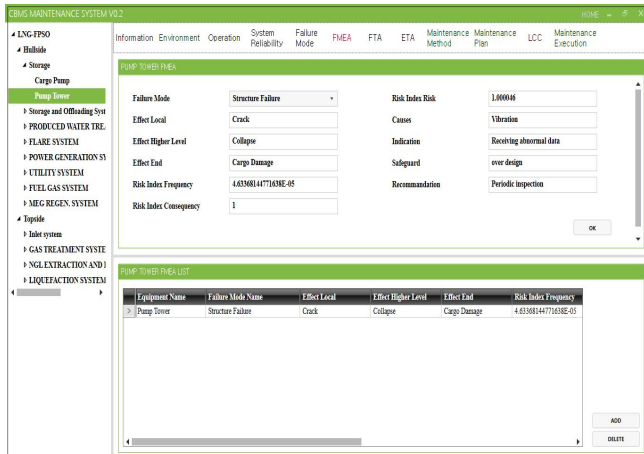


Fig. 9. Failure Modes and Effects Analysis.

Fig. 10에서는 고장분석 및 평가를 바탕으로 결정된 새로운 유지보수 방법과 주기들에 대한 후보군들에 대한 경제성 평가를 실시하는 과정을 나타내었으며, 본 연구에서는 생애주기비용을 사용하여 경제성평가를 사용하였다. 각 후보군에 대한 경제성평가를 수행한 후 후보군에 대한 랭킹을 부여하여 사용자가 최종 대안을 결정하도록 하였다.

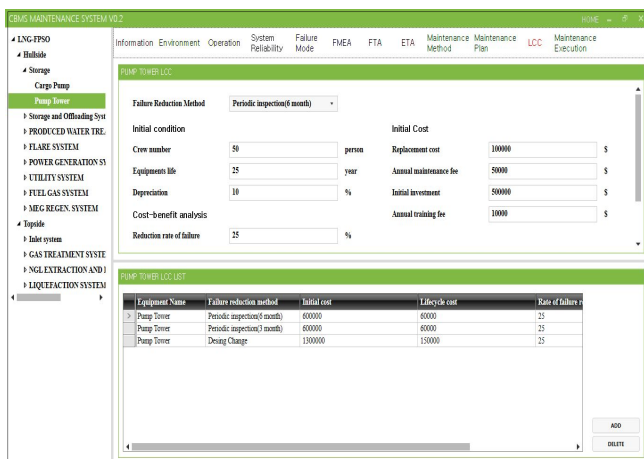


Fig. 10. Economic Evaluation of the maintenance plan.

Fig. 11에서는 유지보수 활동을 수행할 장비들의 고장분석에 따른 유지보수 방법과 주기를 결정하는 과정을 나타낸 것으로, 유지보수 방법과 주기는 데이터베이스에 저장되어 있는 기준을 방법을 먼저 시스템에 가시화하고 이들 중 만족하는 결과가 없을 경우에는 사용자가 직접 정의하도록 하였다.

유지보수 시기는 해양플랜트 운영회사의 유지보수 정책을 고려하여 1일, 3일, 10일, 15일, 1개월, 3개월, 6개월로 구분하였으며, 해당 시기를 고려하여 유지보수 방안을 선택하도록 하였다.

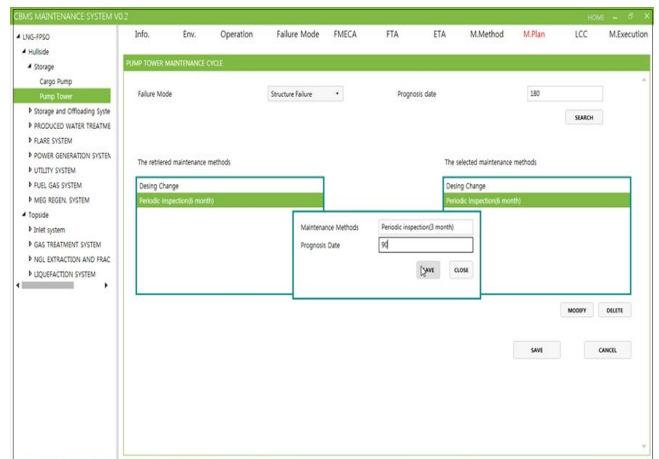


Fig. 11. Decision of Maintenance Method and Period.

5. 결론

한번 설치되면 25년 이상 한 장소에서 가스를 생산하여야 하기 때문에 조그마한 장비들의 고장들도 가스 생산성 향상에 치명적인 원인이 되는 LNG-FPSO 선박에 적합한 유지보수 방법으로 상태기반유지보수 방법이 적합하다는 것을 알 수 있었다.

하지만 현재 상태기반유지보수 활동을 지원하는 시스템이 없어 현장에서는 사람들의 경험에 의존한 유지보수 활동이 주를 이루기 때문에 이를 체계적으로 지원할 수 있는 시스템의 개발이 시급함도 알 수 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 LNG-FPSO 선박에 탑재되어 있는 장비들의 운영효율을 최대화하기 위한 상태기반유지보수 활동을 지원하는 보전시스템을 개발하였다. 시스템 개발을 위해 구역별 보전활동 절차를 정형화하였고, 각 공정에 이용되는 주요 장비들의 고장사레를 수집하였다. 이를 바탕으로 보전활동을 지원하는 보전시스템을 개발하였다. 개발시스템에서는 시스템의 유지보수와 유연성을 고려하였으며, 장비들의 고장분석 및 평가를 수행

하는 해석부분과 장비들의 고장정보들을 저장, 관리하는 데이터베이스 부분 등 여러 개의 모듈로 구성되어 있다. 또한 개발시스템의 성능을 검증하기 위해 LNG-FPSO선박의 Topside 구역 Inlet 시스템과 Hullside 구역 Storage 시스템에 적용하여 그 가능성을 확인하였다.

향후에는 개발된 보전시스템의 고장분석 및 평가 결과향상을 위해 장비들의 현장데이터의 보완과 고장시나리오의 보완을 계속적으로 수행할 예정이다. 또한, 개발시스템의 신뢰성 향상을 위한 고장사례 및 장비운영데이터의 지속적인 수집을 위한 노력이 계속될 것이다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부 지원 ‘해양플랜트 통합 운영 및 유지보수를 위한 예지보전(豫知保全) 시스템 개발 사업’(10045212) 및 BK21플러스사업의 일환으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Dongnam Leading Industry Office(2012), Systems for Offshore Plant-Part II LNG-FPSO Topside Systems, Dongnam Global Offshore Cluster, pp. 3-4.
- [2] GE Energy(2013), Offshore Platforms & FPSOs, GE Energy, Nevada, pp. 3-6.
- [3] Kim, J. W. and S. S. Lee(2014), Development of Maintenance System for Equipments of LNG-FPSO Topside, Proceedings of Annual Autumn Conference of the Korean Society of Ocean Engineering, pp. 174-177.
- [4] Lee, D. H.(2014), Research of design improvement, in particular LNG containment system for Floating LNG, PH. D Thesis, Pusan National University, pp. 10-11.
- [5] Lee, S. S. and J. W. Kim(2014), Case Study for Development of Maintenance System for Equipment of LNG-FPSO Topside, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 28, No. 6, pp. 533-539.
- [6] Lee, S. S., S. B. Lee and J. W. Kim(2015), Development of Maintenance System for Equipment of LNG-FPSO Ship, Proceedings of Annual Autumn Conference of the Korean Society of Naval Architects, pp. 33-38.
- [7] Park, J. S., H. C. Kim, D. W. Jang, Y. Park and H. W. Lee(2007), Reliability Centered Maintenance for Traction Power Systems, Report of Korea Railroad Research Institute(KRRI 07-097), pp. 19-28.
- [8] SINTEF(2009), OREDA(Offshore Reliability Data), OREDA Participants, Norway.
- [9] Smith, A. M. and G. R. Hinchcliffe(2004), RCM Gateway to World Class maintenance, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford. pp. 35-63.
- [10] Son, S. H, K. S. Kim and U. C. Jeon(2014), Offshore Oil & Gas Plant for Ship Engineer, CIR, Seoul, pp. 129-146.

Received : 2016. 02. 25.

Revised : 2016. 03. 23. (1st)

: 2016. 04. 04. (2nd)

Accepted : 2016. 04. 27.